INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 2/IV/2012, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 117–127
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Mariusz Cholewa

SKŁADOWISKO ODPADÓW KOMUNALNYCH W CHEŁMKU – ANALIZA STATECZNOŚCI SKARPY PRZY ZMIENNYCH WARUNKACH GEOTECHNICZNYCH

MUNICIPAL WASTES DUMPING SITE IN CHEŁMEK – AN ANALYSIS OF SLOPES STABILITY AT VARIOUS GEOTECHNICAL CONDITIONS

Streszczenie

Artykuł porusza problem zamykania małych gminnych składowisk odpadów komunalnych, które z różnych powodów nie poradziły sobie ze spełnieniem wymogów obowiązujących od 2003 roku przepisów prawnych. Jednym z takich obiektów jest składowisko w gminie Chełmek położonej w zachodniej części województwa małopolskiego. Trwający obecnie proces zamknięcia i rekultywacji napotyka na problemy wynikające z założeń projektowo-technicznych z lat 70-tych. W pracy przeanalizowano zagadnienie dotyczące stateczności geotechnicznej skarpy o nachyleniu 1:1. Wykorzystując metodę Bishopa określono wpływ zmian wartości kąta tarcia wewnętrznego odpadów na uzyskiwane wyniki współczynnika bezpieczeństwa. Analiza dotyczy również oddziaływania obciążenia zewnętrznego jakie może pojawić się na koronie kwatery, oraz warunków gruntowo-wodnych w podłożu.

Dane do obliczeń stateczności skompletowano w oparciu o przeprowadzone badania terenowe w połączeniu z istniejąca dokumentacja dotyczącą składowiska. Uzyskane wyniki obliczeń wskazują na istniejące ryzyko utraty stateczności w przypadku zaistnienia pewnych określonych założeń parametrów geotechnicznych oraz obciążeń zewnętrznych. Dla rozpatrywanego obiektu przyjęto trzy charakterystyczne przypadki obliczeniowe uwzględniające zmienność wybranych parametrów geotechnicznych i obciążeń zewnętrznych. W przypadku korzystnych warunków gruntowo-wodnych ryzyko utraty stateczności jest niewielkie, natomiast przy nawodnieniu podłoża i skarpy wartości współczynnika bezpieczeństwa wskazują na ryzyko utraty stateczności.

Słowa kluczowe: składowiska odpadów, stateczność zboczy, kąt tarcia wewnętrznego

Summary

The paper deals with an issue of closing small communal dumping sites for municipal wastes that, for various reasons, could not meet the legal regulations in force since 2003. One of such dumping grounds is situated in Chełmek Commune, in the west part of Malopolska Voivodship. The currently lasting process of closing it and reclamation encounters problems resulting from technical design assumptions of the seventieth. The question of geotechnical stability of the slope of the inclination 1:1 was analysed it the article. An influence of changes of the values of the angle of internal friction of wastes on the obtained values of the safety factor was determined using Bishop's method. The analysis concerns also the influence of the outside load that can occur on the crest of the landfill quarter as well as ground-water conditions in the subsoil.

Data for stability calculations were compiled on the basis of the carried out in-situ tests as well as the existing documents concerning the dumping site. The obtained results of calculations show the existing risk of the slope stability loss in the case of certain assumed values of geotechnical parameters and outside loads. There were assumed, for the considered dumping site, three characteristic computational cases, taking into account variety of chosen geotechnical parameters and outside loads. In the case of favourable groundwater conditions, the risk of the loss of the stability is not big, whereas when the subsoil and the slope are saturated, the values of the safety factor show the risk of the slope stability loss.

Key words: *municipal waste dumping site, slope stability, angle of internal friction*

WPROWADZENIE

Najstarszą i najczęściej stosowaną metodą usuwania i unieszkodliwiania odpadów jest ich składowanie połączone z zagęszczaniem zmniejszającym objętość [d'Obryn , Szalińska 2005, Wysokiński 2009]. W Polsce do początku lat 80-tych XX wieku składowiska odpadów lokalizowano w istniejących zagłębieniach terenu oraz na innych nieużytkach o dowolnym ukształtowaniu. Niekoniecznie stosowano wówczas uszczelnienie dna i korony składowiska, drenaż wód odciekowych, system odgazowania – generowało to potencjalne zagrożenia dla środowiska naturalnego. Obecnie zgodnie z obowiązującą Ustawą o odpadach [2001] oraz odpowiednimi rozporządzeniami ministra środowiska [2002, 2003] po zakończeniu eksploatacji kwatery porządkuje się powierzchnię jej korony oraz skarp i wykonuje się odpowiednią okrywę rekultywacyjną uzależnioną od właściwości odpadów. Dla tak zamkniętej kwatery trzeba między innymi ocenić stateczność zboczy metodami geotechnicznymi. W analizie stateczności skarp składowisk należy określić ich bezpieczne pochylenie z uwzględnieniem określonych parametrów geotechnicznych odpadów oraz gruntów podłoża i warstwy rekultywacyjnej, a także – w przypadku skarp już istniejących – prawdopodobieństwo powstania uszkodzenia związanego z obsunięciem skarpy.

CEL I ZAKRES ARTYKUŁU

Celem badań przedstawionych w artykule była ocena stateczności zboczy kwatery II składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne w Chełmku. Składowisko czynne jeszcze dwa lata temu, jest obecnie obiektem zamkniętym, na którym prowadzona jest rekultywacja techniczna i biologiczna. Przeprowadzona analiza obejmuje wartości kąta tarcia wewnętrznego odpadów komunalnych oraz zmiany warunków zewnętrznych i ich wpływ na wartości współczynnika bezpieczeństwa określonego metodą Bishopa. Obliczeń stateczności dokonano w oparciu o dane uzyskane z badań terenowych oraz istniejącą dokumentację dotyczącą składowiska. W obliczeniach założono trzy schematy obliczeniowe wynikające ze zmiennych warunków gruntowo-wodnych oraz obciążenia zewnętrznego. Starano się ustalić, jak zmiana wartości kąta tarcia wewnętrznego wpłynie na współczynnik bezpieczeństwa.

OPIS SKŁADOWISKA ODPADÓW KOMUNALNYCH W CHEŁMKU

Lokalizacja i ukształtowanie terenu

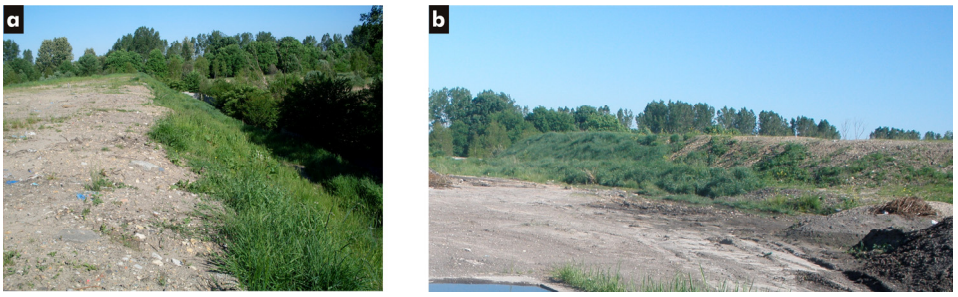
Rekultywowane składowisko odpadów komunalnych usytuowane jest w północnej części gminy Chełmek, przy drodze wojewódzkiej relacji Chełmek–Jaworzno. Najbliższe otoczenie składowiska stanowią tereny leśne, które tworzą przerywany pas zieleni oraz nieużytki. W odległości ok. 100 m od składowiska przepływa rzeka Przemsza, za którą znajduje się zbiornik Imieliński (rys. 1).

Źródło: www.zumi.pl
Source: www.zumi.pl

Rysunek 1. Lokalizacja składowiska odpadów komunalnych w Chełmku
Figure 1. Location of the municipal waste dumping site in Chełmek

Aktualny stan obiektu.

Obiekt jest składowiskiem nadpoziomowym. Jego wierzchowina docelowo wznosi się na około 4–5 m ponad otaczający teren i składa się z pięciu kwater (rys. 1–3), które nie są już eksploatowane – są zamknięte i podlegają rekultywacji. W artykule skupiono się na kwaterze II (rys. 2), gdyż jej eksploatacja zakończyła się stosunkowo niedawno.



Rysunek 2a, b. Korona i skarpy kwatery II składowiska w Chełmku
Figure 2a, b. Crest and slopes of the quarter II of municipal waste dumping site in Chełmek

Kwatera II.

Eksploatacja tej kwatery zakończyła się w grudniu 2009 roku, a jej rekultywację techniczną rozpoczęto w połowie roku 2010. Wierzchowina kwatery o powierzchni 3900 m^2 jest jeszcze niedostatecznie pokryta roślinnością trawiastą. Powstający metan jest usuwany z kwatery za pomocą jednej studzienki odgazowującej znajdującej się w centralnej części wierzchowiny. Uszczelnienie podstawy kwatery wykonano, wykorzystując geomembranę o grubości 2 mm.

Budowa geologiczna podłoża.

Analizowany teren leży w dolinie rzeki Przemszy, podłoże tworzą utwory czwartorzędowe, zalegające bezpośrednio na utworach triasu. Do głębokości 5 m zalegają piaski średnie, wśród których występują soczewki gruntów organicznych. W strefie przypowierzchniowej występują piaski drobne. Obliczony na podstawie badań terenowych współczynnik filtracji gruntów piaszczystych wyniósł $k = 1{,}48 \cdot 10^{-4}$ m/s. Utwory triasowe to przede wszystkim iły pylaste, twardoplastyczne i półzwarte, o miąższości około 70 m. Poziom wody gruntowej waha się w granicach 0–1,8 m poniżej powierzchni terenu [Z.W.O.Ś., 2003].

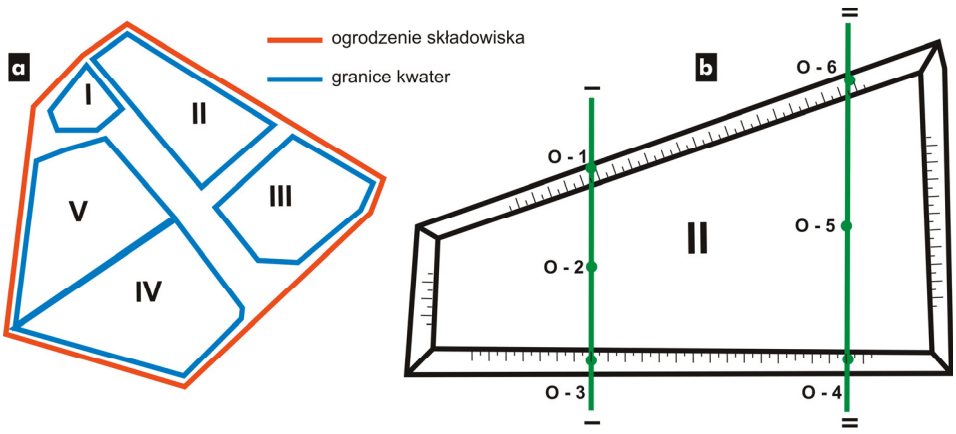
Charakterystyka składowanych odpadów.

W kwaterze II składowano odpady bytowo-gospodarcze z terenu miasta Chełmek oraz okolicznych wsi. Eksploatacja kwater prowadzona była następująco: zebrane odpady dowożone były samochodami, wysypywane, rozprowa-

dzane za pomocą spycharki i formowane w warstwy o grubości 0,5–1,0 m. Warstwy były zagęszczane przez kilkukrotny przejazd spycharki, uformowane warstwy przesypywane były gruntem dla zmniejszenia uciążliwości zapachowych i ograniczenia roznoszenia przez wiatr lżejszych odpadów. Badania terenowe oraz laboratoryjne nie obejmowały cech geotechnicznych odpadów komunalnych, dlatego potrzebne w obliczeniach wartości parametrów mechanicznych – czyli: c = 10 kPa, ϕ = 12,5° lub 25° oraz ρ = 1,10 Mg/m^3 – przyjęto w oparciu o wytyczne do projektowania [Wysokiński L., 2009].

REKULTYWACJA TECHNICZNA – ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE

Założenia rekultywacji technicznej powierzchni kwatery przewidują wyrównanie ostatniej warstwy odpadów, przykrycie warstwą gliny o grubości 0,35 m i położenie warstwy ziemi urodzajnej o grubości 0,15 m. Górna powierzchnia kwatery będzie ukształtowana ze spadkiem 1% na zewnątrz składowiska. Skarpy tej nadpoziomowej kwatery będą posiadały nachylenie 1 : 1. Zakłada się, że w wyniku zabiegów rekultywacyjnych wierzchowina składowiska ukształtowana będzie na poziomie około 4–5 m powyżej rzędnej otaczającego terenu. Do uszczelnienia wierzchowiny i skarp składowiska nie można było zastosować folii HDPE ze względu na kierunek rekultywacji. W związku z tym przyjęto uszczelnienie mineralne wykonane z gruntu.



Rysunek 3. Składowisko w Chełmku: a) rozmieszczenie poszczególnych kwater, b) lokalizacja przekrojów badawczych w kwaterze II
Figure 3. Dumping site in Chełmek: a) layout of the quarters, b) location of cross-sections in the quarter II

Podczas prowadzenia badań terenowych na kwaterze II wytyczono dwa przekroje badawcze (rys. 3), z których pobrano próbki gruntów mineralnych podłoża i warstwy rekultywacyjnej do analizy laboratoryjnej, oznaczając potrzebne do obliczeń stateczności parametry geotechniczne (określone normami PN-EN ISO 14688-1:2006, PN-EN ISO 14688-2:2006 oraz PN-EN ISO 22475-1:2006). Cechy geotechniczne odpadów komunalnych przyjęto, opierając się na danych dostępnych w literaturze [Wysokiński L., 2009].

OBLICZENIA STATECZNOŚCI

Oceny stateczności skarp można dokonać różnymi metodami [Handy R., Spangler M., 2006]. Autor niniejszego opracowania zdecydował się na metodę paskową Bishopa, uwzględniającą pionowe i poziome oddziaływanie sąsiednich pasków. Zakładana powierzchnia poślizgu jest kołowo-cylindryczna. W obliczeniach starano się ustalić, czy zmiana wartości kąta tarcia wewnętrznego oraz warunków wodnych w podłożu wpłynie na wartości wskaźnika bezpieczeństwa skarpy o stosunkowo mało bezpiecznym nachyleniu wynoszącym 1 : 1. Założono trzy warianty obliczeniowe, zaczynając od przypadku, który występuje w okresie niskiego zwierciadła wód gruntowych, poprzez schemat charakterystyczny dla okresu wiosennych roztopów, a kończąc na przypadku z dodatkowym obciążeniem skupionym pochodzącym od maszyny pracującej na powierzchni kwatery.

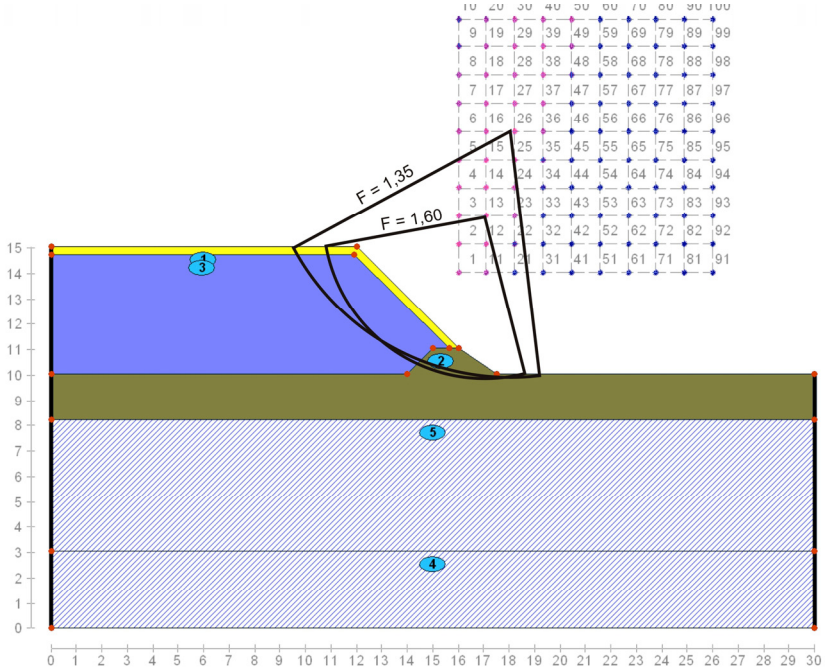
Wariant I – podstawowe warunku gruntowo-wodne w podłożu składowiska

Tabela 1. Charakterystyka warstw gruntowych w I schemacie obliczeniowym
Table 1. Characteristics of soil layers (scheme I)

Nr warstwy	Rodzaj gruntu	I_L/I_d	ρ [Mg/m^3]	c [kPa]	ϕ [^{o}]	Zawodnienie warstwy
1	siCl	0,20	1,95	16,00	14,70	NIE
2	FSa	0,20	1,70	0,00	29,00	NIE
3	odpady komunalne	0,50	1,10	10,00	12,5/25,0	NIE
4	Cl	0,25	1,95	15,00	14,00	TAK
5	FSa	0,20	1,70	0,00	29,00	TAK

Przy uwzględnieniu przeciętnych warunków gruntowo-wodnych w podłożu składowiska (rys. 4, tab. 1) dla wartości kąta tarcia wewnętrznego odpadów równej 12,5° obliczony współczynnik bezpieczeństwa (1,35) jest zadowalający ze względu na zachowanie stateczności. W przypadku, kiedy dla odpadów przyjęto wartość kąta tarcia wewnętrznego równą 25,0°, najbardziej niekorzystny współczynnik bezpieczeństwa wyniósł 1,60. W omawianym wariancie obie

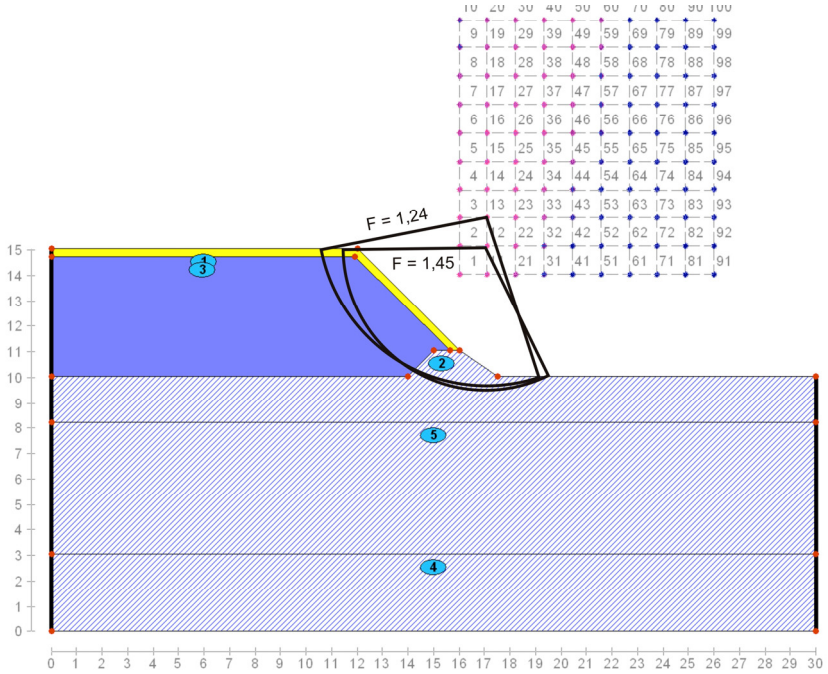
płaszczyzny poślizgu obejmują groblę ograniczającą bez ingerencji w podłoże składowiska.



Rysunek 4. Schemat obliczeniowy stateczności dla wariantu I – podstawowe warunki gruntowo-wodne w podłożu składowiska
Figure 4. Calculation of slope stability, basic groundwater conditions in the subsoil of the dumping ground (scheme I)

Wariant II – przypadek wysokiego zwierciadła wód gruntowych w podłożu składowiska

W przypadku całkowitego nawodnienia podłoża składowiska odpadów (rys. 5, tab. 2) – co występuje w okresie wiosennym – dla wartości kąta tarcia wewnętrznego równej 12,5° wartość współczynnika bezpieczeństwa wyniosła 1,24. Kiedy dla odpadów przyjęto wartość kąta tarcia wewnętrznego równą 25,0°, skarpa okazała się samostateczna, a najbardziej niekorzystny współczynnik bezpieczeństwa wyniósł 1,45. W badanym przypadku zwiększa się ingerencja krzywych poślizgu w podłoże składowiska.

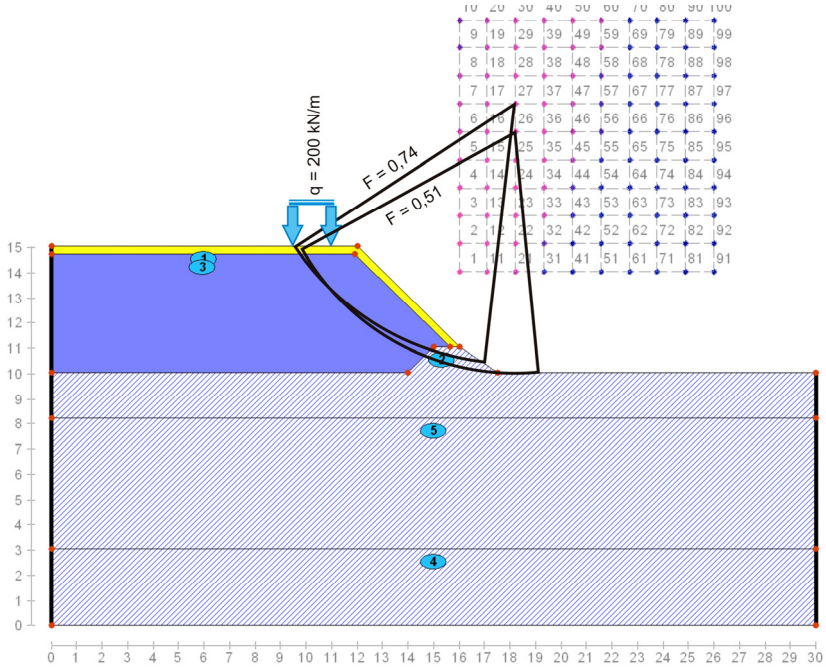


Rysunek 5. Schemat obliczeniowy stateczności dla wariantu II – przypadek wysokiego zwierciadła wód gruntowych w podłożu składowiska
Figure 5. Calculation of slope stability, high groundwater level of in the subsoil of the dumping ground (scheme II)

Tabela 2. Charakterystyka warstw gruntowych w II oraz III schemacie obliczeniowym
Table 2. Characteristics of soil layers (scheme II and III)

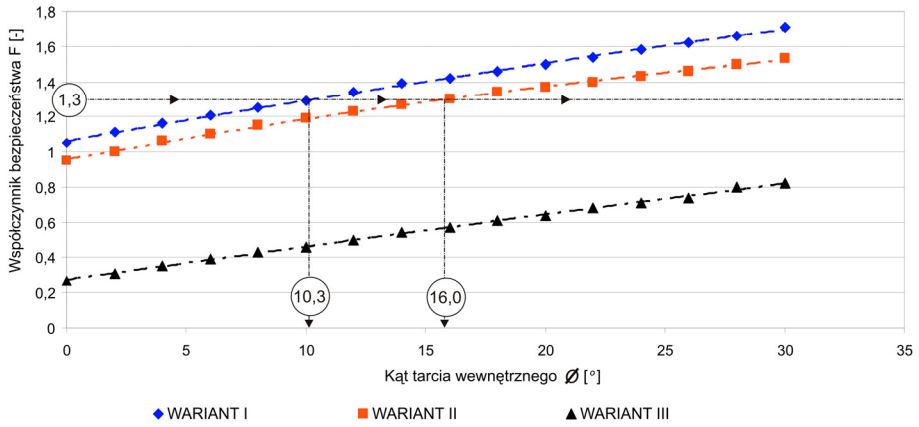
Nr warstwy	Rodzaj gruntu	I_L/I_d	ρ [Mg/m^3]	c [kPa]	ϕ [^{o}]	Zawodnienie warstwy
1	siCl	0.20	1.95	16.00	14.70	NIE
2	FSa	0.20	1.70	0.00	29.00	TAK
3	Odpady komunalne	0.50	1.10	10.00	12.5/25.0	NIE
4	Cl	0.25	1.95	15.00	14.00	TAK
5	FSa	0.20	1.70	0.00	29.00	TAK

Wariant III – przypadek wysokiego zwierciadła wód gruntowych w podłożu składowiska oraz obciążenie pionowe



Rysunek 6. Schemat obliczeniowy stateczności dla wariantu III – przypadek wysokiego zwierciadła wód gruntowych w podłożu składowiska oraz obciążenie korony
Figure 6. Calculation of slope stability, high groundwater level in the subsoil of the dumping ground (scheme III)

Wariant III oprócz całkowitego nawodnienia podłoża składowiska zakłada pojawienie się na koronie nasypu maszyny do robót ziemnych, co przedstawiono w schemacie obliczeniowym jako obciążenie powierzchniowe o wartości 200 kN/m (rys. 6, tab. 2). Dla założonej wartości kąta tarcia wewnętrznego równej 12,5° wartość współczynnika bezpieczeństwa wyniosła 0,51. W przypadku, kiedy dla odpadów przyjęto wartość kąta 25,0°, najbardziej niekorzystny współczynnik bezpieczeństwa wyniósł 0,74. W analizowanym wariancie obie płaszczyzny poślizgu nie wchodzą w podłoże składowiska, ale obejmują groblę ograniczającą.



Rysunek 7. Wykres zależności współczynnik bezpieczeństwa od kąta tarcia wewnętrznego dla trzech wariantów obliczeniowych
Figure 7. Graph of the relation safety factor from the angle of internal friction for three computational variants

Dla pełniejszej analizy zachowania się skarpy wykonano obliczenia zależności współczynnika bezpieczeństwa od wartości kąta tarcia wewnętrznego odpadów, zakładając jego wartości w przedziale 0 - 30º (rys. 7). Przy zachowaniu stałych wartości pozostałych parametrów geotechnicznych zmiany wartości Ø wpływają liniowo na zmianę wartości współczynnika bezpieczeństwa.

Przyjmując jako punkt odniesienia podstawowe warunki gruntowo-wodne (wariant I), to przy wysokim poziomie wód gruntowych (wariant II) zmniejszenie wartości współczynnik bezpieczeństwa zawiera się w przedziale 7,8 - 10,5%. Jeśli dojdzie obciążenie powierzchniowe (wariant III), wartość F zmniejszy się o 51,8 – 74,3%, nie osiągając wartości 1,3.

Wartości kąta tarcia wewnętrznego które w przeprowadzonych obliczeniach pozwalają uzyskać $F \geq 1,3$ to w przypadku wariantu I $Ø \geq 10,3º$, a dla wariantu II $Ø \geq 16,0º$. Wariant II najbardziej niekorzystny pod względem przyjętych parametrów obliczeniowych nie pozwala uzyskać wartości $F \geq 1,3$, przy założonych wartościach kąta tarcia wewnętrznego

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zamykana kwatera składowiska odpadów komunalnych podlega zabiegom technicznym zmierzającym do odizolowania odpadów od otoczenia i zapewnienia stateczności geotechnicznej całej budowli. Obliczenia prowadzone na etapie wykonywania projektu są oczywiście w pewnym stopniu przybliżone, ponieważ

uwzględniają jedynie założone parametry odpadów komunalnych. Jest to częste rozwiązanie, ponieważ oznaczenie parametrów geotechnicznych odpadów jest trudne. Dla rozpatrywanego obiektu założono trzy charakterystyczne przypadki obliczeniowe uwzględniające zmienność wybranych parametrów geotechnicznych i obciążeń zewnętrznych. W przypadku korzystnych warunków gruntowo-wodnych (wariant I) ryzyko utraty stateczności jest niewielkie, nawet jeśli założy się minimalne wartości kąta tarcia wewnętrznego. W przypadku, gdy w podłożu gruntowym pod skarpą podniesie się poziom wód gruntowych, powstaje ryzyko utraty stateczności dla założonej wartości $\phi = 12{,}5°$. Zdecydowanie należy unikać wprowadzania na koronę skarpy ciężkiego sprzętu w warunkach nawodnionego podłoża. Ryzyko utraty stateczności jest wtedy bardzo wysokie bez względu na założone parametry kąta tarcia wewnętrznego odpadów.

BIBLIOGRAFIA

d'Obryn K., Szalińska E. *Odpady komunalne. Zbiórka, recykling, unieszkodliwianie odpadów komunalnych i komunalnopodobnych*. Wydaw. PK, Kraków 2005, 138 ss.

Handy R., Spangler M. *Geotechnical Engineering. Soil and Foundation Principles and Practice*. McGraw-Hill Professional Publishing, New York 2006, 904 ss.

PN-EN ISO 14688-1:2006 Badania geotechniczne — Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów — Część 1: Oznaczanie i opis

PN-EN ISO 14688-2:2006 Badania geotechniczne — Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów — Część 2: Zasady klasyfikowania

PN-EN ISO 22475-1:2006 Rozpoznanie i badania geotechniczne — Pobieranie próbek metodą wiercenia i odkrywek oraz pomiary wód gruntowych — Część 1: Techniczne zasady wykonania

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów (Dz.U. 2003 nr 61 poz. 549 ze zm.)

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 r. w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów (Dz.U. 2002 nr 220 poz. 1858 ze zm.)

Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Tekst jednolity: Dz.U. 2001 nr 62 poz. 628 ze zm.)

Wysokiński L. *Zasady budowy składowisk odpadów*. ITB, Warszawa 2009, 376 ss.

Z.W.O.Ś. „WASTE" 2003. *Projekt techniczny rekultywacji składowiska odpadów komunalnych w miejscowości Chełmek* [maszynopis], 14 ss.

Zadroga B., Olańczuk-Neyman K. *Ochrona i rekultywacja podłoża gruntowego. Aspekty geotechniczno-budowlane*. Wydaw. PG, Gdańsk 2001, 228 ss.

Dr inż. Mariusz Cholewa
Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki
Uniwersytet Rolniczy
Al. Mickiewicza 24/28
30-059 Kraków
Tel. 12 6624150
e-mail: mcholewa@ur.krakow.pl